

テラヘルツイメージングを用いた塗装膜の膜厚ムラ計測 Distribution measurement of painting film thickness using terahertz imaging

○安田敬史*、安井武史*、岩田哲郎**、荒木勉*

○Takashi Yasuda*, Takeshi Yasui*, Tetsuo Iwata** and Tsutomu Araki*

阪大院・基礎工*、徳島大工**

Grad. Sch. of Engg. Sci., Osaka Univ. *, Dept. of Engg., Univ. of Tokushima**

E-mail: yasuda@sml.me.es.osaka-u.ac.jp

There is an intense need of in-process quality control of a paint film for rust prevention, water proofing and color effect of a car body, so on. Therefore, non-contact and remote measurement of painting film thickness is required. In this study, we purposed distribution measurement of painting thickness by using terahertz imaging and applied it to evaluation of multi-layer paint and detection of paint-off that is difficult by the convention methods.

1. はじめに

塗装は自動車を始めとする様々な工業製品に施されており、その役割は素地の保護(防水、防錆、防錆)、美観(色彩効果)、特殊機能(耐光性、耐熱性など)の付与である。このような塗装膜の品質不良(膜厚ムラや不純物の混入)はこれらの効果を低下させるため塗装膜の品質管理は重要である。しかし従来の接触型膜厚計(渦電流式など)では(a)非接触リモート、(b)膜厚ムラ、(c)多層膜、(d)未乾燥塗装膜、(e)非金属素地上塗装膜、(f)膜厚以外の品質評価(乾燥状態、塗装膜剥離)などの計測が困難であった。

最近、新しい非破壊計測手段としてテラヘルツ電磁波パルスが注目されている[1]。テラヘルツ電磁波パルス(周波数 100GHz~10THz、波長 300 μ m~3mm)は光波と電波の境界に位置する電磁波であり (1)自由空間伝播、(2)非金属に対する良好な透過特性、(3)コヒーレントなサブピコ秒パルス、(4)低侵襲性、(5)極性液体に対する吸収が大きい、(6)散乱の影響が少ない、(7)分光計測やイメージング計測が可能といった特徴を持つ。

我々は塗装膜品質管理において要求されている上記項目(a)~(f)を満たす手段としてテラヘルツ電磁波パルスに注目しこれを用いたテラヘルツ塗装膜モニタリングの開発を行っている[2, 3]。今回は、テラヘルツイメージングを用いた膜厚ムラ計測について報告する。

3. 測定結果

3.1 塗装膜群屈折率の評価

テラヘルツパルスのパルスエコー法を用いた膜厚測定ではテラヘルツエコーパルスの遅延時間と塗装膜の群屈折率がわかれば未知の膜厚を導出することが可能になる。そこで最初にテラヘルツ領域の群屈折率を求めるため渦電流式膜厚計によりあらかじめ計測した膜厚既知の塗装膜サンプル 2 種類(黒アクリル塗料、白アルキド塗料)を用いて時間遅延の計測を行った。図 1 に膜厚と時間遅延ステージ移動量の関係を示す。図 1 の近似直線の傾きより白アルキド塗装膜の群屈折率は 2.59、黒アクリル塗装膜の群屈折率は 1.66 と求められる。塗装膜の種類によって明確な群屈折率の違いが確認できる。計測精度は近似直線からのバラツキより 5 μ m である。また膜厚分解能はテラヘルツパルスの時間幅により制限され 40 μ m である。

3.2 多層膜計測

従来法では測定が困難であった非金属基板の多層塗装膜の膜厚ムラ計測を行った。サンプルはプラスチック基板に白アルキド塗料(第一層)と黒アクリル塗料(第二層)を塗り重ねたものを使用した(図 2 (a))。イメージングはサンプルの 10mm×10mm の領域を 1mm/step で 100 点行い計測時間は 5 分である。イメージング計測の場合、ナイフエッジ法による計測から横空間分解能は 1.7mm である。図 2 (b)はテラヘルツエコーパルスのインパルス応答を示している。図 2 (b)で(1)空気と黒アクリル塗料の境界、(2)黒アクリル塗料と白アルキド塗料の境界、(3)白アルキド塗料とプラスチック基板(群屈折率: 1.8)の境界からのエコーパルスが観測されている。エコーパルスの正負は境界前後の屈折率の大小関係により決定される。(1)、(2)、

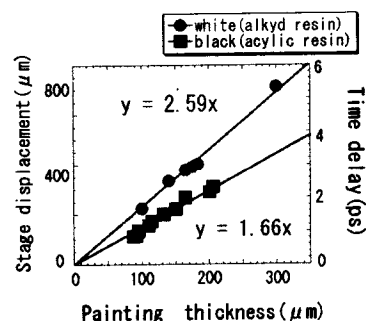


Fig.1 Relation among painting thickness, stage displacement and delayed time.

(3)それぞれの遅延時間と群屈折率から膜厚を求めた結果を図2(c)に示す。第一層の膜厚は $158 \pm 11 \mu\text{m}$ 、第二層の膜厚は $238 \pm 33 \mu\text{m}$ となった。第二層は図2(c)からもわかるように、塗装のダレにより大きな膜厚ムラが発生していることがわかる。

3.3 剥離膜診断

次に剥離膜診断を行った。塗装膜の剥離は(1)塗料の品質(付着性、耐久性、対気候性)不良、(2)不適切な塗装時間、(3)素地表面の汚れ(水分、油分)、(4)悪い塗装環境(温度、湿度、気候条件)、(5)経時変化による劣化、のような要因で起こる。このような剥離は塗装膜の機能を低下させる要因になるため塗装膜剥離診断が必要とされている。サンプルを図3(a)に示す。アルミ基板の上に白アルキド塗料を塗り、故意に剥離させた部分を計測する。イメージングはサンプルの $10\text{mm} \times 10\text{mm}$ の領域を $1\text{mm}/\text{step}$ で100点行い計測時間は5分である。図3(b)はテラヘルツエコーパルスのインパルス応答を示している。エコーパルスは①空気と塗装膜表面の境界、②塗装膜裏面(剥離面)と空気層の境界、③空気層とアルミ素地の境界からのエコーパルスが計測されている。①、②、③それぞれの遅延時間と群屈折率から膜厚を求めた結果を図3(c)に示す。図3(c)で素地から剥離した部分($x=2.5\text{mm}-10\text{mm}$)が明らかに示されている。剥離部分は最大で $555 \mu\text{m}$ であった。

4. おわりに

今回はテラヘルツイメージングを使った膜厚ムラ計測について報告した。多層膜やプラスチック基板上の塗装膜厚の測定は従来法では困難であったが、本手法により膜厚ムラ計測が可能となった。また塗装膜の品質評価において重要な塗装膜剥離診断も可能であることがわかった。今後は塗装膜剥離診断膜厚分解能の向上や測定の迅速化について行う予定である。本研究はNEDO 産業技術研究助成より援助を受けた。

文献

- [1] D.M.Mittleman et al, Appl. Physics. B, **68**, pp1085-1094 (1999).
- [2] 安井他, Optics Japan2002 講演予稿集 p207-271
- [3] T.Yasui et al, Proc. IEEE conference on THz 2003, pp135 (2002)

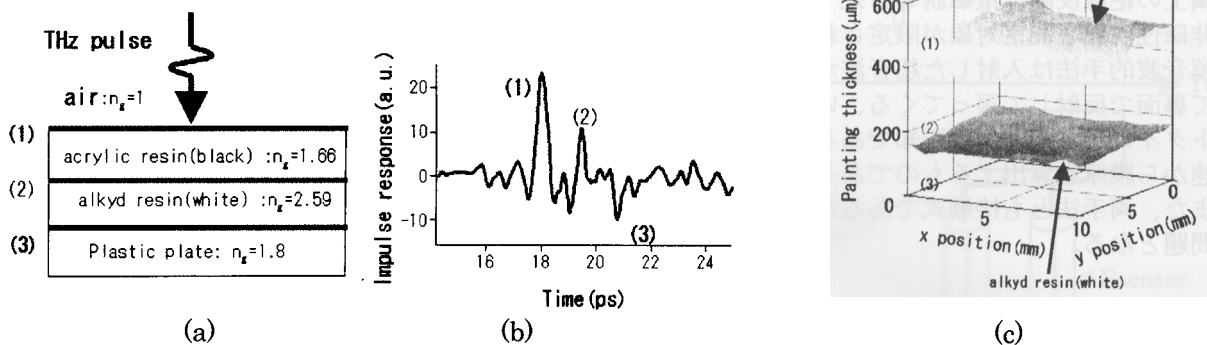


Fig.2 (a)Sample of multiplayer painting film on plastic plate, (b)impulse response of terahertz echo pulse, (c)thickness distribution of multiplayer painting film(scan range = $10\text{mm} \times 10\text{mm}$).

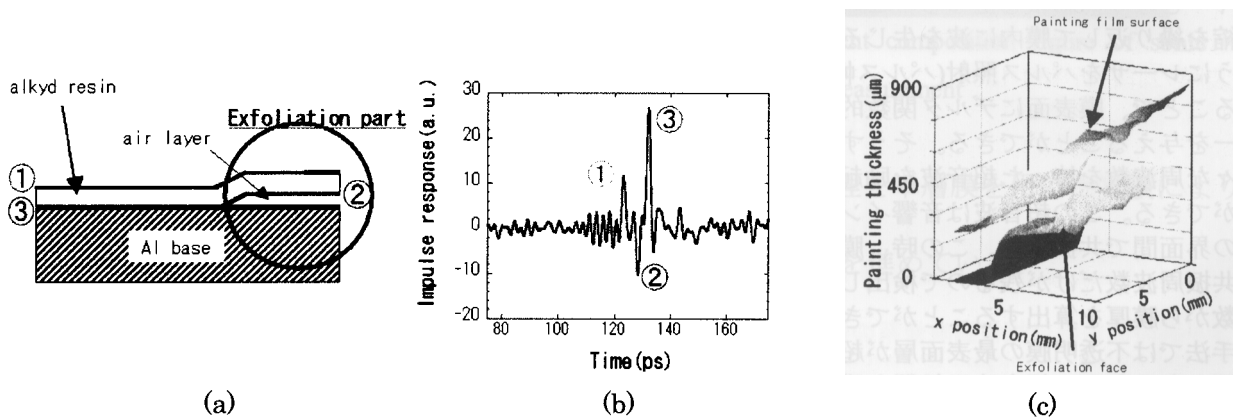


Fig.3 (a)Paint-off sample of painting film(white alkyd resin),(b)impulse response of terahertz echo pulse, (c)distribution of paint-off (scan range = $10\text{mm} \times 10\text{mm}$).